

水库滑坡现象与环境因素的关系

Relations between Landslides of Reservoir and Environment Factor

李宪中 杨铁生 李广信

(清华大学土木水利学院水利系 北京 100084)

一、应用复杂开放系统的自组织理论 解释滑坡现象的尝试

耗散结构论、协同学及混沌理论等非线性科学,共同揭示了物质系统变化过程中的可逆与不可逆、有序与无序及这种矛盾相互转化的机理和条件。同时揭示了自然界物质系统如何从平衡到不平衡、从对称到非对称、从稳定到不稳定的演化和反演化的规律^[1]。

耗散结构理论认为,一个系统从初始的混沌状态出发,具有自催化能力的单元之间的竞争,能够通过一系列非平衡不稳定产生功能组织,而且“系统在获得时间的、空间的或功能的结构过程中没有外界特定的干预,我们便说系统是自组织的”。滑坡产生于特定的地质环境,滑坡的产生是由于物质分布的非均一性和重力的不稳定性而导致的位移。所谓重力的不稳定性是指物质分布有着过剩的位能,而该位能可通过运动得到释放。从系统论角度来理解,滑坡可视为一个不断与周围地质环境交换物质、能量和信息,从外界汲取负熵而达到从无序走向有序目的的开放的复杂系统。这一复杂系统的行为则充分体现了其自组织特性。地学所研究的对象从本质上来讲是一个开放系统,它与外界环境存在着物质和能量交换,是一个不断变化着的系统。因此,各种地质作用及这些作用所形成的地质体,大多数处于复杂的非线性状态,即不规则的分形状态;滑坡系统的开放性、不平衡性、无序性、非线性是绝对的、长期的;而封闭性、平衡状态、有序性、线性则是相对的。

羊绒品质将会发生明显的不良影响。

4. 改善生存条件,或进行生态移民 为了对已经很脆弱的生态环境进行保护和治理,并有效制止还在不断破坏生态环境的各种行为,建议国家、地方政府和社会团体,应采取积极有效的措施,帮助生活在该地区为数不多的贫苦农牧民,迅速改变生存环境,如兴修水利、引水灌溉、新建农田和人工草场等,或将他们迁移到生态环境好的地区。这样既从根本上解决了当地贫苦农牧民的生计问题,又便于对原地区进行有计划的治理和保护,使其迅速恢复昔日的生机和活力,恢复生态平衡。

自组织现象有以下特点。(1) 自组织现象中的结构为耗散结构,耗散结构是依靠消耗外界能量来维持的结构,一旦外界停止向系统供给能量,耗散结构就会被破坏。同时耗散结构是一种稳定的宏观结构,稳定性指这种结构受到扰动后,只要外界条件不变,结构仍将恢复。(2) 耗散结构的出现是由于系统在演化过程中,当某些参数达到临界值时,系统状态发生突变。突变的时间过程很短,其动力学过程目前还不清楚,通常并不讨论发生的过程,仅研究突变前后系统不同稳定状态的形式及特点,注重研究系统发生突变时外界的控制条件。(3) 控制条件与系统的有序结构无明显的联系。控制条件一般是连续的改变,而系统的变化是突然变化的。在控制参数的一定范围内,系统状态没有任何变化,当参数逐渐变化到某一临界值时,系统状态会突然变化。

自组织理论在研究系统的演化、形成有序结构的过程中,采用了很多独特而有效的方法,使我们得到有益的结果。自组织理论认为:在描述系统状态的众多变量中,必然存在随时间变化较慢的慢变量。当系统发生相变时,慢变量起主导作用,它决定系统相变的速度、相变的形式,而快变量对系统相变不起作用。这个役使原则(slaving principle)使我们可能在讨论系统由无序状态向有序状态转变过程中,只分析少数慢变量,使分析工作简化。在分析少数慢变量演化的微分方程时,可能利用方程的定性理论,讨论方程的定态解个数、定态解的稳定条件,从宏观上掌握系统演化的特点及发生相变的条件。利用自组织理论研究系统的复杂变化特别是混沌状态,可以找到一个定量的方法。关于维数的计

主要参考文献

- [1] 赵有璋主编. 羊生产学. 中国农业出版社, 2000
- [2] 赵有璋. 试论 21 世纪初叶中国养羊业的持续发展问题. 全国养羊生产与学术研讨会论文集 (1999~2000 年). 中国草食动物, 2001 年专辑
- [3] Zhao Youzhang, Goat industry and its significance in Chinese Economy, INTERNATIONAL ACADEMIC PUBLISHERS, 1996
- [4] FAO, 1999 年世界畜牧生产统计资料 (秦浩肆编译). 国外畜牧科技, 2001 (3)
- [5] 中国农业年鉴编辑部. 中国农业年鉴 2000. 中国农业出版社, 2000 (责任编辑 王宏章)

算不仅可以讨论已知规律的混沌系统,而且可以讨论混沌现象的时间序列。

当重大事件发生后,人们往往归因于外因的冲击、突发的环境和某些强有力的因素的综合作用。但自组织理论观点认为,大的相互作用系统会自然而然地朝着一种自组织临界态演进,其结果是小事件冲击亦会引起连锁反应而可能导致一场大的事件。重要的是系统是耗散的,而且它们在空间上能扩展到无限的自由度,其能量直接或间接通过边界进入这一巨大体系并以均匀方式供给系统。自组织临界态理论属于整体理论,它所描述的总体特征不取决于微观机制。

耗散结构理论研究一个开放系统由混沌向有序转化的机理、条件和规律。它指出,一个远离平衡态的开放系统,不论是力学的、生物的,还是社会的、经济的系统,当外界条件或系统的某个参量变化到一定的临界值时,通过涨落发生突变,即非平衡相变,就有可能从原来的混沌无序状态转变为一种时间、空间或功能有序的新状态。这种远离平衡非线性区形成的宏观有序结构,需要不断与外界交换物质和能量才能形成新的稳定结构。普利高津把这种需要耗散物质和能量的有序结构称为耗散结构,将系统在一定条件下才能自行产生的组织性和相干性称为自组织现象。耗散结构论是研究耗散结构的性质、稳定和演变规律的科学,又被称为非平衡系统的自组织理论。自组织是自然界中的系统在非人为因素下自发产生的有序状态,可包括在时间、空间、功能等方面。平衡态自组织不需要与外界进行物质和能量交换。非平衡态自组织是系统在远离平衡时,非线性相干作用的结果,过程不具可逆性,内部结构处于一种低熵、内能较高的状态,并且只有不断与外界进行物质和能量交换才能维持。

对于研究的每一个系统而言,周围的环境称为外部环境。严格地讲,任何系统都受到外界的影响,自然界并不存在真正的孤立系统。封闭系统和开放系统都要受到外界的影响。系统的开放性,对于系统由低级到高级的进化、自组织及新的功能的产生起着决定性的作用。对于水库内的滑坡系统来说,原有的地质条件和气候降雨条件依然存在,增加的外部环境是库水的浸泡作用和水库调度引起水位变化带来的水动力。所以研究三峡库区滑坡系统的稳定性,应主要研究新的水环境对其的影响。

对于一个孤立系统,初始时在各个部位的热力学参数(温度、气体密度等)可能具有不同的值,但这些参数随时间变化,最终将达到一种不变的状态,为平衡态。开放系统也可达到平衡态。开放系统的演化强烈地依赖系统的外部条件,它的非平衡态演化有着丰富的内容和多种可能性。

熵(S)是热力学引入的最重要的物理概念,它对复杂系统的研究至关重要。

(此处略去熵、熵流等6个数学表达式及相关说明——编者)

系统具有自组织现象,无数个无规则运动的微观粒子,在某种条件下相互协同组织成更高级的运动形式。高级组织在原先相对无序、对称、低组织程度中自发产生出来,为了维持这种自组织必须不断地对系统做某种形式的“功”,即不断地“消耗”能量。

热力学第二定律指出自然界中一切与热现象有关的实际宏观过程都是不可逆过程。系统处于平衡态时,分子在容器内均匀分布,所以平衡态对应热力学概率最大的宏观态。系统由非平衡态向平衡态变化,是由热力学概率小的宏观态向热力学概率大的宏观态变化。系统所包含的微观状态量越多,系统就越无序,系统的热力学概率和熵越大,所以系统的熵是系统无序性的量度。对于开放系统,由于存在着熵流,如果系统的熵流是负的,系统总熵的减少,可以使系统从无序走向有序。从热力学观点看,自然界存在两类有序结构。一类是平衡状态下的稳定化有序结构,为平衡结构,如晶体和液体。另一类为非平衡态的稳定化有序结构,为耗散结构。耗散结构只有在非平衡条件下通过和外界进行物质和能量的交换才能形成和维持。系统的总能量 $E = E_1 + TS$ 。其中 E_1 为自由能,可以用来做功,是热力学能的自由部分;而 TS 的熵能是不能做功的,为能量的耗散部分。系统能量的耗散与系统的熵的增量成正比,即 $\Delta E_1 = -T\Delta S$ 。1945年普利高津提出了最小熵产生原理。按照这一原理,在接近平衡状态条件下,系统的不可逆过程使系统趋向某个定态(平衡态或稳定的非平衡态);达到定态时,熵产生并达到最小值。最小熵原理保证了定态的稳定性,因为任何对定态的偏离,都会使系统的熵产生大于定态的熵产生,系统最终会回到定态来。当系统远离平衡态时,系统依然可以演化到某个平衡态,但最小熵原理不再有效,定态的稳定性不再有保证。当某种无序状态失去稳定性时,一种新的有序状态就可能形成。耗散结构的形成是与不稳定性相联系的。从数学角度看,系统的某种定态相当于描述系统动力学微分方程的某个定解,因此系统的某个状态失稳相当于微分方程有不稳定解。按微分方程理论,有不稳定解的微分方程必须是非线性微分方程,因此产生不稳定现象的必要条件是动力学过程的非线性。

自然界的许多事物都具有某种对称性,所谓对称性是指事物经过一定的变换仍保持不变的性质。不同事物之间或事物内部诸个要素之间的关系具有一定的次序,称为“序”,“序”与对称性密切相关。一般说来,系统对称性越高有序度就越低。如长江巴东附近南岸有练子石崩岩,对应北岸有巨型滑坡体新滩,在地理位置上表现了高度对称性,说明此处滑坡系统将为无序。

耗散结构形成的条件如下。(1) 开放系统是形成耗散结构的必要条件。只有开放系统,在通过与外界交换能量和物质的过程中引入负熵来抵消自身内部熵的增加,在系统的总熵逐步减少,才能从无序走向有序。(2) 系统必须远离平衡态。系统即使处于平衡态与外界有能量、物质交换,其自发趋势也仍是回到平衡态。系统只有远离平衡态,才有可能形成新的稳定有序的结构。(3) 开放系统总是通过某种突变过程产生自组织现象,即某种临界值的存在是伴随耗散结构形成的条件。如滑坡稳定对应降雨强度的临界值,水库内滑坡体稳定与蓄水位变化也有临界值的存在。在临界点附近,系统性质发生突变的现象并非只在非平衡相变中出现。在平衡结构出现时,同样伴随有临界值、失稳及对称性自发破缺现象。实际上,已经从热力学分支分叉演化

出来的耗散结构分支也会失稳,进一步改变控制参量而发生新的失稳,进入新的更高级的耗散结构分支,表现为二级分支,以至于三级分支和更高级。(4) 正反馈造成热力学分支的失稳,为耗散结构的产生提供了条件。热力学分支的稳定性取决于这种正反馈与耗散因素的竞争。当耗散因素占优时,热力学分支是稳定的,反之,原来的状态就要失稳。(5) 系统内各要素间应存在非线性相互作用。线性的正反馈可能使热力学分支,但无法重新建立一个新的稳定态。在热力学分支失稳的基础上,由非线性项即可使系统重新稳定在新的耗散结构分支上。(6) 涨落导致有序。涨落指的是系统中某个参量或行为相对于平均值的偏离。当系统处于稳定态时,涨落是一种干扰,系统的抗干扰能力将迫使涨落率减低,使系统回到原来的状态或轨道。如果系统处于不稳定的临界状态,涨落有可能被放大为“巨涨落”,使系统从不稳定状态跃迁到新的有序状态。在耗散结构里,在不稳定后出现的宏观有序是由增涨最快的涨落决定的,涨落决定有序。因此,三峡水库水位涨落是决定滑坡稳定的重要因素,而最大涨落速率是决定性的因素。

哈肯的协同论认为,分子或子系统之间的相互作用所引起的协同作用使得系统从无序转化为有序。一般而言,系统中各分子运动状态由分子的热运动及分子间的关联所引起的协同运动共同决定。当分子间的关联能量小于独立运动的能量时,分子的独立运动占主导地位,这时系统处于无序状态;当分子间的关联能量大于分子的热能量时,分子的独立运动就会受到约束,要服从由关联形成的协同运动,于是系统显示出有序的特征。涨落是系统中各局部内分子间相互耦合变化的反映,每个涨落都具有特定的内容,代表着一个结构或组织的“胚芽状态”。涨落的出现是偶然的,只有适应系统动力学性质的涨落才能得到系统绝大部分分子的响应而影响整个系统,并将系统推进到一种新的有序结构——耗散结构。

如图 1 所示,以表示外界对系统影响的程度和系统偏离平衡态的程度控制参数 λ 为横坐标,以表征系统定态的某个参数 x 为纵坐标,与 λ_0 对应的 x_0 表示平衡态,随着 λ 偏离 λ_0 , x 也偏离平衡态。但当 λ 偏离 λ_0 较小时,系统的状态很类似于平衡态并具有稳定性,表示非平衡定态的点形成线段 a ,这是平衡态的延伸,称为热力学分支。当 $\lambda > \lambda_c$ 时,超过了临界值,曲线 a 的延伸 b 上各个非平衡定态将变得不稳定,一个小的扰动可以引起系统的突变,离开热力学分支跃到另外两个稳定的分支 c 或 c' 去,它们每个点可能对应某种时空有序状态,称为耗散结构分支。在 $\lambda = \lambda_c$ 处,热力学分支开始分岔,这种现象为分岔现象。分岔数目决定于系统的动力学性质。分叉理论进一步指出,随着控制参数的改变,各稳定分支又会变得不稳定而导致二级分支或更高级分支现象。高级分支现象表明:某些系统在远离平衡态时,可以有多种可能的有序结构,因而使系统表现出复杂的时空行为。在系统偏离平衡态足够远时,分支越来越多,系统就具有越来越多的相互不同的可能的耗散结构。由于系统处于何种耗散结构是随机的,因而系统的瞬时状态不可测。这时,系统

进入了一种无序状态,为混沌状态。在混沌状态,无序所涉及的空间及时间尺度具有宏观量级;而在热力学平衡状态下的无序状态下,空间和时间的特征具有分子量级。

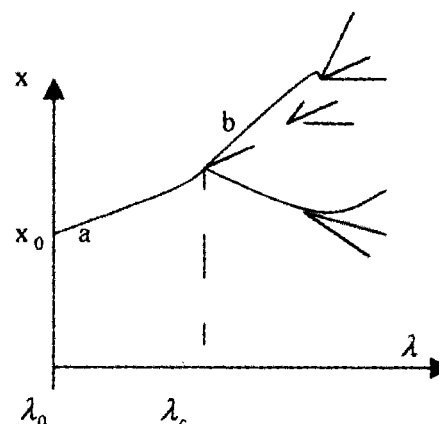


图 1 高级分岔现象

系统内的“高度轨道高度不稳定”,是指紧邻的轨道随时间的发展会出现指数的分离。由于这种不稳定性,系统长时间的行为会表现出某种混乱性。滑坡系统的运动和失稳状态具有混乱性,也为混沌现象。所以具有混沌的基本特征。

混沌具有以下特性。(1) 轨道不确定性。它在适当的约束下导致运动的不稳定性和分叉现象。(2) 对初始条件的敏感和依赖性。随着时间的推移,任意靠近的各个初始条件表现出各自独立的时间演化。说明水库滑坡系统在水库不同运行期,因初始蓄水条件的不同,会演化出不同的稳定条件。(3) 长期不可预测性。由于初始条件仅限于有限的精度,故初始条件的微小差别可能对以后的演化产生巨大的影响。

Hausdorff 维数^[2]: 对于不规则研究对象,如滑坡变形,为了测得其长度,取一测量单位 ε 去度量,当 ε 不断缩小时,测得的长度 $n(\varepsilon)$ 便随 ε 的不断缩小而增大。求 ε 趋于零的极限,则定义该点集的维数为
$$c = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\lg n(\varepsilon)}{\lg(1/\varepsilon)}$$

如果存在一个数 D , 当 $c < D$, $n(\varepsilon) \varepsilon^c \rightarrow \infty$; 当 $c > D$, $n(\varepsilon) \varepsilon^c \rightarrow 0$; 当 $c = D$, $n(\varepsilon) \varepsilon^c$ 趋向有限数,则 D 是“奇怪集合”的分维,即 Hausdorff 维数。

在热力学系统中同样存在稳定性的概念,由于外界条件的变化,迫使系统从平衡态过渡到稳定的非平衡态。外界环境条件的变化引起热力学系统失稳,使系统跃迁到耗散结构分支上,叫非平衡相变^[3]。

本文假定某地区滑坡系统的演化可用一组联立微分方程描述。

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = f_1(A, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \frac{dx_2}{dt} = f_2(A, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \dots \\ \frac{dx_n}{dt} = f_n(A, x_1, x_2, \dots, x_n) \end{cases}$$

其中 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为 n 个滑坡系统 (含岩土特性、坡度、裂纹密度等状态变量), 又为强度指标。A ($y_1, y_2, y_3 \dots y_n$ 分别为降雨强度、降雨量、水库浸泡滑坡水变化、水位下泄速度、水库诱发地震几率、地震震级等) 表示外界环境对系统的控制, 称为控制参量。对于水库滑坡系统来说, 库水位的变化、降雨强度、降雨量、水库诱发地震强度是控制参量的主要参数, 但具有随机特性、模糊特性和测不准特性。

在一定条件下系统能脱离序参量为零的热力学分支而发展到具有非零、具有有限个序参量值的耗散结构分支上。要在数学上加以实现, 所考虑的方程必须是非线性的。以单变量为例, 假定序参量方程为: $\frac{dx}{dt} = f(x) = (A - A_c) x - x^3$; 方程的定态方程是: $(A - A_c) x - x^3 = 0$, 则有 3 个解, $x = 0$, $x = \pm \sqrt{A - A_c}$ 。

当 $A < A_c$ 时, $x = 0$ 的解是稳定的, 仅有一个热力学分支稳定解; 当 $A > A_c$ 时, 解 $x = 0$ 仍然存在, 但不稳定了, 两个新的耗散解 $x = \pm \sqrt{A - A_c}$ 成了稳定定态。比如, 降雨强度对于滑坡系统是一个序参量 x , 水库水位影响因素对滑坡系统有一个临界安全值 A_c , 建库前滑坡系统在没有降雨时 ($x = 0$) 是稳定的。当水库蓄水后, 库水位造成的动水压力、地震因素和概率较水库建成前都会增加, 超过安全值 A_c 时, 即使不降雨, 系统也不稳定了。与此同时, 天然状态下滑坡系统稳定对应有最大临界降雨强度值, 在有外界水库因素影响后, 会相应调整。建库前天然情况下的临界阈值 A_{cn} 大于建库后的临界阈值 A_{cr} , 根据有关资料和本文估计, 建库后的临界阈值比天然情况的控制参量阈值要减小 10%~20%。

例如新滩滑坡天然水位 90 米情况下稳定安全系数为 1.45, 当江水位抬高到 120 米时, 稳定系数为 1.34; 当水位为 150 米时稳定系数 1.1; 当水位提到 175 米时, 稳定系数 0.99。根据长江滑坡新滩监测实际资料^[3], 1979 年以前缓慢变形阶段, 启动降雨量为 350 毫米; 在 1980 年至 1982 年匀速蠕变阶段, 启动降雨量为 170 毫米; 1983 年至 1985 年加速变形阶段, 启动降雨量为 103 毫米。鸡扒子滑坡属于典型的暴雨诱发滑坡, 该滑坡复活于暴雨期, 约滞后暴雨 14 小时, 1982 年 7 月 16 日 4 时开始, 到 18 日 2 时累计降雨达到 331 毫米, 超过了本地区诱发滑坡的临界暴雨强度; 加上泥石流堵沟, 大量雨水直接渗入老滑坡体, 使滑坡体强度急剧下降, 地表水的入渗使滑坡内地下水位升高 10~30 米, 造成极大的浮力和动水压力, 滑坡终于发生。1982 年的江水位和洪水来量相当于千年一遇的概率。当三峡水库正常蓄水后, 175 米水位超过当时洪水浸泡水位, 概率是一年一遇, 加上水库地震因子后, 老滑坡失稳的概率增大, 稳定临界值会相应降低 10%~20%。

分形理论由美国科学家 Mandelbrot 于 20 世纪 70 年代创立, 它的产生加深了人们对自然界不规则几何体的认识, 使人们能够借助于事物内部的自相似性来洞察隐藏在混乱现象中的精细结构, 为人们从局部认知整体、从有限认知无限提供了新的思路 and 工具。由此可认识到, 土体粒级分布和强度分布是土结构的重要特性。Perfect 等据此提出了一个以多重分形为基础的理论模型, 研究了给定外应力下

强度和尺寸分布。

本文据三峡地区滑坡史料记载, 取一定时段 ε , 统计出滑坡发生的时段数 $N(\varepsilon)$, 通过计算可得 $\lg N(\varepsilon) \sim \lg(1/\varepsilon)$ 关系曲线, 得到 1935~1958 年时期的分维值是 1.03, 1958~1977 年分维值是 2.24, 1977~1985 年分维值是 3.5, 说明时段滑坡数量越多, 系统分维值越大、系统越复杂, 系统时间分维值高说明面临大滑坡的可能性。以长江新滩为例, 运用分维方法对空间特征进行分析, 将研究区分成大小相等的区域 ε , 统计出危险小区域个数 $N(\varepsilon)$, 建立 $\lg N(\varepsilon) \sim \lg(1/\varepsilon)$ 关系曲线, 得到 1979 年的空间分形维数是 1.0, 1980 年分形维数 1.2, 1981 年分形维数 1.64, 1982 年分形维数 2.0, 1983 年分形维数 2.3, 1984 年分形维数 2.6, 1985 年分形维数 2.9, 1986 年分形维数 1.38。说明空间分形维数增大, 滑坡变形的危险性增大; 而 1985 年发生滑坡后, 1986 年的空间分形维数又降低了, 处于新的稳定状态。

二、降雨强度与滑坡的关系研究

根据重庆市地质灾害防治规划报告, 统计出滑坡分布与降雨的关系 (表 1)。

表 1 重庆市部分地区滑坡与降雨关系

县市名	滑坡数(处)	滑坡密度处 / 100km ²	年均降雨量 (mm)	暴雨量 (mm)
奉节	85	2.1	1 090	218.5
云阳	60	1.644	1 103	357.7
江津	48	1.50	1 038	188.3
巴南	46	2.52	973.9	249.5
城口	43	1.31	1 380	232.0
长寿	37	2.615	998.2	293.3
巫溪	27	0.671	1 306	327.2

滑坡发生与降雨时间及暴雨频次具有很好的致性。从长时段的季节看, 绝大多数滑坡发生在雨季 (5~9 月)。从短时段的降雨过程来看, 滑坡一般发生于暴雨中或略滞后, 其滞后时间的长短与降雨量、降雨强度、滑坡体性质和规模及雨前滑坡体稳定程度有关。一般滑坡大部分发生在暴雨过程的中后期, 若开始即为暴雨, 在 10 小时以上降雨量达到 100mm, 则开始出现滑坡, 多数滑坡在暴雨后的第二天或第三天大量出现。表 2 为小型土质滑坡的降雨特征。

表 2 部分滑坡发生的降雨特征

滑坡位置	体积 (10 ⁴ m ³)	滑坡发生时间	降雨特征
忠县桂乡村	228	1998 年 8 月 12 日	8 月 11~12 日降雨持续 24 小时, 降雨量 260mm
云阳大面村	805	1998 年 8 月 12 日	8 月 10~15 日连续降雨, 持续 3 次大暴雨过程, 总降雨量 300mm 以上
姊归文化乡	200	1996 年 7 月 7 日	7 月 2~4 日连续降雨 277mm
巴东沿渡河镇	5	1981 年 8 月 7 日	8 月 6 日降雨 152mm
姊归马家坝岩滑	2 882	1986 年 7 月 16 日	7 月 14~16 日降雨 173mm

统计万县地区的滑坡资料可以看出, 一般 7、8 月暴雨强度和滑坡频率最高, 占全年的 54%, 其次是 6 月和 9 月, 占全年滑坡总数的 26%, 而 4、5、10 三个月只占 15% 左右。调查资料显示滑坡发生频率最高的月份与暴雨出现频率最多的月份一致。

降雨型滑坡大多发生于降雨中后期, 其滞后时

间一般不超过 3 天。杜容恒等^[4]对长江三峡库区 1982 年 7 月诱发的 80 多个典型滑坡的发生时间与降雨历时的统计中发现:暴雨开始后 10~12 小时就出现的滑坡,多为浅层堆积和粘土滑坡;在暴雨开始 24 小时内产生的滑坡占总数的 16%;在暴雨 28~30 小时后大量滑坡开始出现;降雨 48 小时内产生的滑坡占 77%,而 72 小时内出现的滑坡占总数的 85%。同时发现,滑坡发生的密度和时间序列还受雨型的影响。暴雨触发的滑坡密度大、时间序列较为集中,久雨型滑坡发生的密度小、时间上分散。实际上具有不同水动力学特征的斜坡,对降雨的敏感程度不同,如裂隙充水承压型斜坡失稳,多发生在暴雨峰值出现时,因为此时裂隙充水达到异常高度。而潜水型和承压型斜坡失稳,往往滞后于降雨峰值,因为降雨入渗而引起土体物理化学变化及水头压力变化需要一定的时间。

三峡库区姊归、巴东、巫山、奉节、云阳、万县气象站从 50 年代到 80 年代最大一日降水量的记录(此处删去两个表)表明,历年中最大降水量集中在 5 月~9 月份,最大一次降水量是 1982 年云阳的 278 毫米。表 3 列出了 1982 年长江三峡库区沿江各典型暴雨触发滑坡特征。

表 3 1982 年长江三峡库区沿江各典型暴雨触发滑坡特征

滑坡名	所在县	发生时间 (月、日)	滑坡体积 (10 ⁴ m ³)	滑坡类型	日降雨量 (mm)	累计降雨量 (mm)
南竹坝	奉节	7. 16	70	浅层堆积	88. 0	90. 0
闪口	忠县	7. 17	1 800	基岩	171. 8	310. 8
易家滑坡	忠县	7. 17	280	基岩	171. 8	310. 8
鸡扒子	云阳	7. 18	1 500	厚堆积层	164. 1	331. 0
天宝	云阳	7. 17	620	中堆积层	101. 6	283
革岭	云阳	7. 17	950	厚堆积层	94. 9	345. 0
白果	奉节	7. 16	120	浅堆积层	58. 5	138. 3

根据巴东、姊归、奉节、巫山、云阳、万县等气象站的多年降雨资料,统计出了各自日降雨量出现的频率关系,并建立了地区最大日雨量的频率经验公式。通过这些经验关系可以知道当地滑坡临界降雨强度年出现的几率。统计结果表明当日降雨强度超过 100 毫米、累计降雨量超过 300~350 毫米时,天然情况下会出现大型滑坡。

许文年、蔡德所^[11]对清江流域水布垭水电站库首的鱼洞河、刘家陀、钟家屋滑坡进行了滑坡稳定因子计算,得到 $\frac{\partial K}{\partial c}$ 的范围是 0. 004~0. 005 Kpa; $\frac{\partial K}{\partial h_w}$ 的范围是 0. 01~0. 02/ m。本文认为稳定安全系数对内凝聚力的变化不敏感,可能是岩土在地下水作用下已经降低到临界点,变化很小的缘故;而地下水位和内摩擦角变化仍较大,所以成为安全系数变化的主要因子。类比三峡水库的滑坡体稳定性,如果

在实际资料较少的情况下,可以粗略地进行敏感性估计。实际上地下水位变化与降雨强度、降雨量、地下岩土渗透特性、裂纹沉陷、水库江面水位变化密切相关。王尚庆^[12]多年从事岩崩滑坡地质灾害监测预测防灾工作,介绍了长江三峡库区新滩、黄腊石、鸡扒子等滑坡特征,与本文分析基本一致。他认为天然情况下降雨因素对水位的影响权重大些。

综上所述,结论是:三峡水库建成后,地下水位变化受水库调度影响的权重要大于降雨因子的权重,因为水库水位变化为 30 米左右,天然降雨因素不会引起地下水位这样大的变化;天然情况下地震因子的权重较大,只是几率较小;建库后是否会诱发地震以及诱发地震的震级和频度,均对滑坡稳定性有重要影响,如果地震频繁、震级较大,影响权重也许会排在第一位。本文只是根据国内外有关资料进行类比,准确性有待深入研究。另外,许文年等认为岩土内部的内凝聚力对滑坡稳定性的影响因素的权重较小,这对于三峡水库的滑坡稳定性是否合适,值得进一步论证。

参考文献

[1] 李士勇. 模糊控制、神经控制和智能控制论. 哈尔滨工业大学出版社
[2] Feder J. Fractals. Plenum Press (M) . New York ,1988: 1-214
[3] Mandelbort ,B. B. and wallis ,J. R ,Some longrun properties of geophysical records (J) ,Water Resours ,Res.,1969.
[4] 杜容恒等. 长江三峡库区滑坡与泥石流研究. 四川科学技术出版社,1991
[5] 叶金汉等. 岩石力学参数手册. 水利水电科学研究院、水利水电规划设计总院. 水利电力出版社
[6] O. Ojo. The effecy od moisture on some mechanical properities of rock. Mining Science and Technology , 1990 , 10 , 145~156
[7] Y. p Chugh. Effect of moisture on strata control in coal mines. Engineering Geology ,1981 ,17 ,241~255
[8] 谢和平. 岩石混凝土损伤力学. 中国矿业大学出版社,1990
[9] 康红普. 水对岩石的损伤. 水文地质工程地质 ,1994 (3)
[10] 胡哲华, 陈宏宇. 影响软弱砂岩抗压强度因素之研究. 土木水利 ,2001(8)
[11] 许文年等. 地质缺陷对坝基及滑坡稳定性影响研究. 中国水利水电出版社 ,2000
[12] 王尚庆等. 长江三峡滑坡监测预报. 地质出版社, 1999 (责任编辑 王宏章)

科技动态

快速污水化验新技术

据英《新科学家》2002年2月23日报道:澳大利亚昆士南的 Giffith 大学的化学家理查德·约翰和他的同事研究出一种新方法,只需1小时就能完成化验,知道水的有机污染程度。传统的污水化验方法叫“生物化学氧检测”。细菌在分解水中的有机污染物时,消耗水中的氧。由于水

中溶解的氧很少,用“生物化学氧检测”化验方法要花很长时间。为了加速化验,约翰和他的科研小组采用赤血盐作试剂,赤血盐在水中可以快速溶解上万倍的氧,如果有机污水进入河流,研究人员就能很快知道这种污水将使河流中减少多少氧,从而迅速发出水情警报。(刘先曙)